

階層ベイズを用いた多品種少量生産品を扱う物流倉庫における需要予測

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 *加野 雅士 KANO Masashi
内田 雅喜 UCHIDA Masaki
小出 幸和 KOIDE Yukikazu
株式会社 豊田自動織機 加藤 紀彦 KATO Norihiko
01208340 筑波大学 佐藤 忠彦 SATO Tadahiko

1. 研究背景

近年, 少子高齢化に伴う労働力人口の減少[1], e-コマース(電子商取引)の拡大[2]による多頻度・小口配送, 効率・迅速性への対応など, 物流を取り巻く環境は急激に変化している. 物流倉庫では, 適正な在庫を保持する必要がある一方で, 保管スペースやコストの制約から過剰在庫をささなければならない.

本研究は, 適切な在庫管理を行うための方策の一つとして, 物流倉庫に蓄積されたデータを活用し, 多品種少量生産品(例えば自動車補給部品, 家電製品, スーパーの食料品など)に対応可能な新たな需要予測手法の開発を目的とする.

2. 先行研究

寺嶋, 椿(2006)は, 需要予測の精度を改善するために, 受注数にポアソン分布を仮定した一般化加法モデル(GAM)を提案した. 各商品の受注数の対数を目的変数とし, 説明変数としては, 長期的なトレンドや季節性に加え, 来店客数や売価などの変数を取り込んでいる[3].

本研究で取り組む多品種少量生産品は, 寺嶋, 椿(2006)の対象商品とは異なり, 売価等の店頭プロモーションで売上が規定されるわけではない. また商品個々に長期の時系列データが存在しているわけではない. そのため, GAMのようなモデル化の枠組みで, 多品種少量生産の商品の需要予測を実施ことは難しく, その商品特性や販売特性を柔軟に取り込みうる新たな需要予測の枠組みを開発しなければならない.

3. 提案手法

近年のマーケティング研究では消費者の異質性に着目した研究が注目を浴びている. 消費者の異質性のモデリングでは, 消費者個々には違いがあるが, 消費者間には共通性もある, と考え, 階層ベイズモデルの枠組みでモデル化する(佐藤, 樋口, 2013)[4]. 本研究では, 消費者異質性を商品異質性と読み替えて, 多品種少量生産品の需要予測モデルを階層ベイズ回帰モデルの枠組みで定式化する.

3.1 モデル構築の考え方

図1にはモデル化の考え方を模式的に示した. 商品個々の受注数の対数に影響を及ぼす要因(受注要因)は担当者のノウハウから洗い出す. 受注要因には天気や景気等の時系列データ

と商品の特徴データが存在する. 提案手法ではそれらをモデルの入力データとし, 商品ごとの受注数の対数を予測するモデルを定式化する.

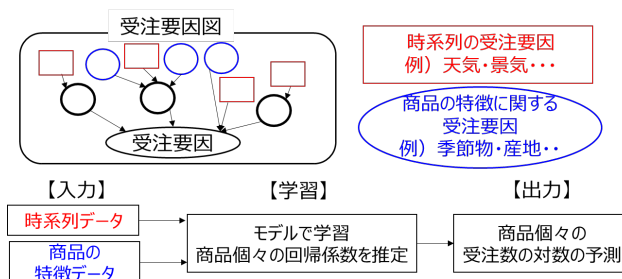


図1 受注要因の洗い出し

3.2 階層ベイズモデル

本研究で採用する階層ベイズモデルは, データが観測されるメカニズムを示す「観測モデル」と異質な反応係数間の共通性のメカニズムを示す「階層モデル」により定式化される. (1)式には提案する観測モデルを示す.

$$y_{it} = \sum_{k=0}^p \beta_{ik} x_{itk} + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_i^2) \quad (1)$$

式中, i, t は商品と時点をそれぞれ示し, $\beta_i = (\beta_{i0}, \dots, \beta_{ip})^t$ は商品 i の回帰係数を示す. (2)式には階層モデル(多変量回帰モデル)を示す.

$$\beta_i = \delta z_i + v_i, v_i \sim MVN(\mathbf{0}, V_\beta) \quad (2)$$

z_i は商品 i の特性を示す階層モデルの説明変数ベクトルであり, δ は(2)式の階層モデルの回帰係数行列である.

4. 推定結果

4.1 データと計算条件

物流現場で収集したデータに3節に示したデータを適用し, モデルを推定する. データ期間は2017年11月~2020年6月であり(学習期間を2017年11月~2020年6月, 予測期間を2018年11月~2020年6月とする), 対象商品は期間中, 最低毎月1個以上受注実績があった4,983商品とした. 本研究では月次の受注数の対数を目的変数とした. 表1には使用するデータを示した.

表1 データ

| 変数 (連続値) | 説明 |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| y_{it} | 受注数の対数 |
| x_{it0} | 定数: 1 |
| x_{it1} | ($t-1$)時点の受注数 |
| x_{it2} | ($t-12$)時点の受注数 |
| x_{it3} | 日銀短観業況判断 (大企業製造業) |
| x_{it4} x_{it5} | 景気動向指数 (先行指数・一致指数) |
| x_{it6} | 鉱工業指数 (製品在庫率) |
| x_{it7} x_{it8} x_{it9} | 積雪量・気温・湿度 |
| x_{it10} x_{it11} | 国の貿易に関する変数 (輸出額・輸入額) |
| x_{it12} | 災害 (地震による家屋の倒壊数) |
| x_{it13} | 決算月ダミー (2月=1, それ以外=0) |
| x_{it14} | 決算月ダミー (3月=1, それ以外=0) |
| x_{it15} | セール月ダミー (12月=1, それ以外=0) |
| x_{it16} | セール月ダミー (1月=1, それ以外=0) |
| x_{it17} | 中間決算月ダミー (8月=1, それ以外=0) |
| x_{it18} | 中間決算月ダミー (9月=1, それ以外=0) |
| x_{it19} | 台風による被害があった月 (2019年10月11月=1, それ以外=0) |
| z_i | 商品の使用目的 |

MCMC の繰り返し回数は 100,000 回とし、5 個おきにサンプルを記録することとし (20,000 個記録される)、はじめの 10,000 回をバーンインとして捨て、後ろの 10,000 個で種々の統計的議論を実施する。

4.2 モデルの比較

本研究では、インサンプルデータを用いて、通常回帰モデルと階層ベイズ回帰モデルの予測性能を比較した。モデル比較には商品 i の平均絶対誤差率 $MAPE_i$ を (3) 式を用いた。 n は予測期間であり (本研究では 20)、 \hat{y}_{it} と y_{it} は商品 i の時点 t の予測値と実測値である。

$$MAPE_i = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{\hat{y}_{it} - y_{it}}{y_{it}} \right| \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

図 2 には予測した 4,983 個の商品ごとの $MAPE_i$ を示し、全商品について階層ベイズの $MAPE$ が低く、精度の高い予測ができた。しかし階層ベイズで予測した一部商品 (図 2 太丸部分) の $MAPE$ は 100% を超えていた。この精度が悪化する要因は、以下に考察結果を示す。

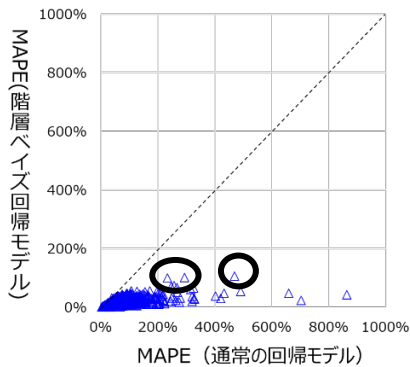


図2 $MAPE_i$ の結果

図 3 には、ある商品 (予測精度が最も低い商品) の実績値と

予測値の時系列グラフを示す。

丸点線部は実測と予測のズレが大きい。受注数が急変した月は精度の高い予測を行うことができていないことを示す。これはモデルに取り込む時系列データの変数の不足が考えられ、今後の課題として予測ズレの要因を時系列変数としてモデルに取り込むことを検討する。

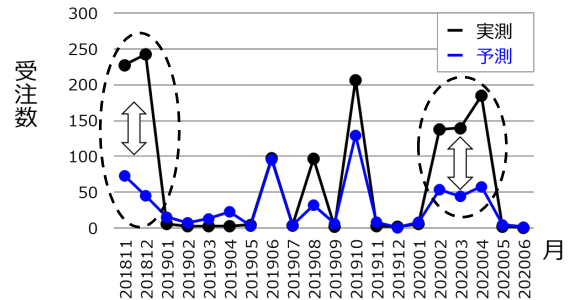


図3 実測と予測の関係

5. まとめ

本研究では、多品種少量生産商品の需要予測手法として階層ベイズモデルを提案した。モデルでは、学習によって推定される商品共通の構造を用いて受注データ数が少ない商品の予測にも対応できるようにしている (本原稿では紹介していないが、発表時には紹介する予定である)。また、モデルには、様々な受注要因をモデルに取り込み、モデル比較を通して、提案手法の有効性を確認した。

本研究には、特に予測精度の低い商品への対応という課題が残されている。今後、そういった予測精度の低い商品の予測精度がなぜ低いのかを検証を深め、予測精度の向上が実現できるモデルへ拡張していく予定である。また、本研究の予測精度の検証はインサンプルで実施したものであり、ホールドアウトサンプルでは実施していない。その点にも対応する。

謝辞

本研究にご協力いただいた早稲田大学の横山様に感謝致します。

参考文献

- [1]労働力調査 (基本集計), "労働力調査 (基本集計) 2020 年 (令和 2 年) 平均", 総務省統計局, 令和 3 年 1 月 29 日
- [2]電子商取引実態調査, "令和元年度電子取引に関する市場調査", 経済産業省, 令和 2 年 7 月 22 日
- [3]時嶋正尚, 椿広計 (2006), 「在庫データ及び売上予測を用いた欠品率の推定に関する研究」, 日本物流学会誌第 14 号, 平成 18 年 5 月
- [4]佐藤忠彦, 樋口知之 (2013), 「ビッグデータ時代のマーケティング・ベイジアンモデリングの活用」, 講談社